

УДК 624.04

АБДЕЛАЛЬ ЯСЕР ЭЛЬ ХАСАН

Украинский транспортный университет, г.Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОДОЛЬНОГО СТЫКА СОПРЯЖЕНИЯ СТАРЫХ И НОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Сегодня значительное количество автодорожных мостов Украины требуют реконструкции. Действующие нормативные документы рекомендуют для этого известные схемы проектных решений, однако эти рекомендации имеют лишь конструктивный характер [1]. Поведение же реконструируемых пролетных строений под воздействием временной подвижной нагрузки изучено недостаточно, хотя критерии пространственной работы пролетного строения в зоне стыка часто могут быть определяющими при выборе варианта реконструкции. Здесь приводятся результаты численного исследования напряженного состояния продольного стыка сопряжения старых и новых элементов реконструируемых диафрагменных пролетных строений с помощью новых приставных блоков и монолитной железобетонной плиты, даются рекомендации по назначению параметров реконструкции.

Задача исследования. Рассматривается распространенное на автомобильных дорогах разрезное пролетное строение из диафрагменных блоков с ненапрягаемой арматурой, пролетом $L=16,3$ м [2]. Проектом реконструкции предусмотрено одностороннее уширение путем установки нового блока, отличного по геометрическим характеристикам от существующих блоков, и накладной монолитной железобетонной плиты. Необходимо исследовать напряженное состояние продольного стыка сопряжения старых и новых элементов и выполнить анализ эффективности и надежности стыковки старых и новых элементов реконструируемых пролетных строений. Принятый способ решения задачи – численный анализ по методу конечных элементов.

Модель пролетного строения. Дискретная модель пролетного строения представляет собой систему перекрестных балок. Действительной континуальной системе ставится в соответствие стержневая модель, в которой пролетное строение моделируется системой перекрестных стержней – балочным ростверком. Исследуемое пролетное строение и его расчетная схема показаны соответственно на рис.1, 2.

Элементы расчетной схемы моделируются следующим образом:

- продольные элементы имеют геометрические характеристики, совпадающие с таковыми у реального объекта;
- поперечные диафрагмы моделируются стержнями, имеющими

геометрические характеристики, совпадающие с реальными;

– плита пролетного строения моделируется стержнями прямоугольного сечения, имеющими геометрические характеристики, полученные из энергетического равенства стержня и выделенного участка плиты.

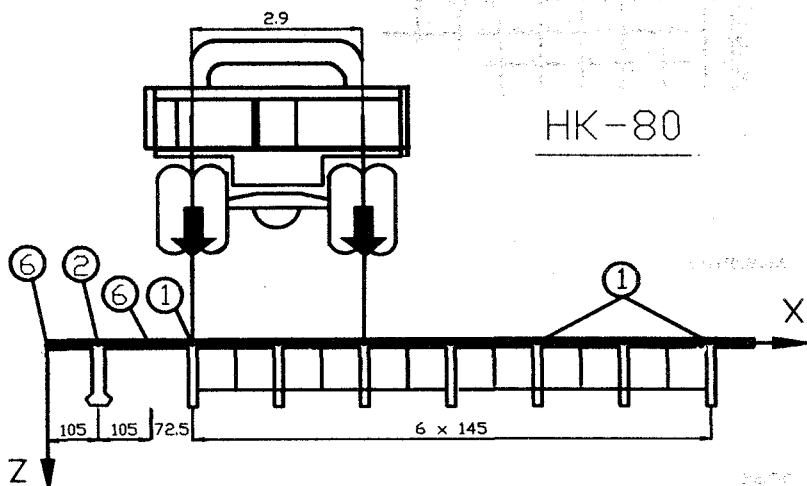


Рис. 1 – Плита соединения старых и новых блоков исследуемого пролетного строения

Принятая модель отличается простотой, физической четкостью и имеет сравнительно несложный алгоритм автоматического формирования ее разрешающих уравнений. Большое количество данных подтверждает достаточную для практических целей точность модели [3].

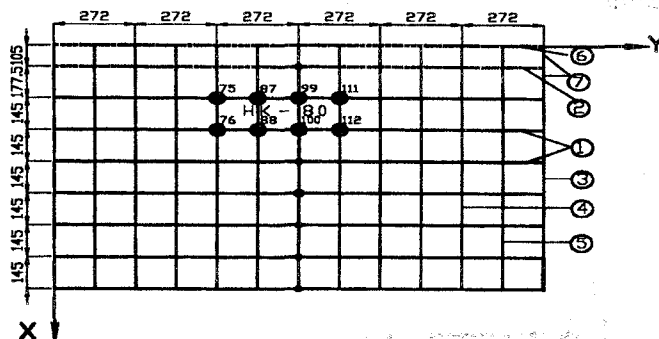
Стержневую модель рассчитываем по методу конечных элементов. Конечный элемент, принятый для расчета, имеет шесть степеней свободы. Вектор степеней свободы одного узла содержит три неизвестных узловых перемещения:

$$\{q_i\} = \{\omega_i \theta_{yi} \theta_{xi}\}^T, \quad (1)$$

где ω_i – линейное перемещение по оси Z ; θ_{yi} – угловое перемещение относительно оси Y ; θ_{xi} – угловое перемещение относительно оси X .

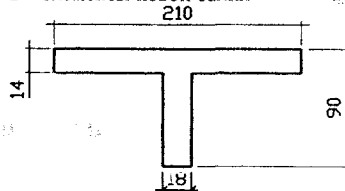
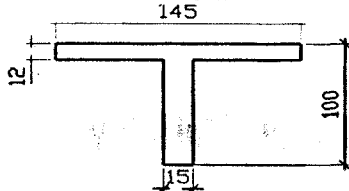
Элемент лежит в плоскости XOY и загружен поперечными нагрузками (см. рис.3). Вектор сил одного узла содержит три компоненты:

(2)

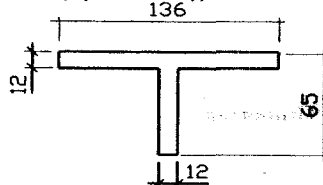
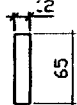


3

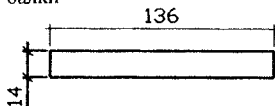
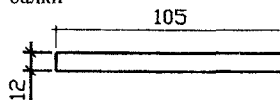
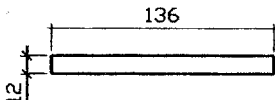
- 2 – элементы новой балки



- 4 – внутренние диафрагмы



- 6 – продольный стержень плиты новой балки



6

Рис. 2 – Модель диафрагменного пролетного строения, $L = 16,3$ м:

а — расчетная схема диафрагменного пролетного строения;

б – моделирование расчетной схемы пролетного строения

где Q_i – усилие по направлению оси Z ; M_{yi} – узловый момент относительно оси Y , вызывающий кручение элемента; M_{xi} – узловый момент относительно оси X , вызывающий изгиб элемента в плоскости YOZ .

Элемент в локальных координатных осях показан на рис.3.

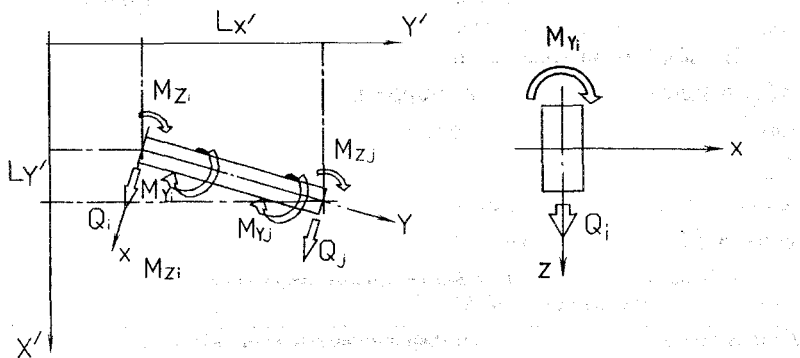


Рис. 3 – Конечный элемент и система неизвестных

Для расчетов построена программа по обычной схеме метода конечных элементов. Она позволяет получать поверхности влияния давления от единичной силы или моменты и поперечные силы от заданных временных и постоянных нагрузок автодорожных мостов. Программа тщательно тестирована с помощью вычислительного комплекса “Лира-Windows” и данных натурных испытаний мостов.

Численные эксперименты заключались в определении максимальных изгибающих моментов и поперечных сил в зонах ребер существующего пролетного строения, и стыка сопряжения старых и новых элементов.

Рассматривались проекты уширения габарита $\Gamma - 8,5$ м до $\Gamma - 10$ м для пролетов $L = 8,4 - 21,6$ м.

Результаты численного исследования напряженного состояния продольного стыка плиты, соединяющей старое пролетное строение с новой частью, представлены в такой форме:

- приведена расчетная схема с указанием нумерации узлов и номеров элементов рассматриваемой части плиты (рис.4);
- для продольного сечения стыка выведены на печать значения изгибающих моментов от нагрузки НК-80, установленной в середине пролета над крайним ребром пролетного строения;

– для сечений по плите в зоне крайнего ребра существующего пролетного строения и ребра нового блока выведены на печать значения изгибающих моментов от нагрузки НК-80, установленной в середине пролета над крайним ребром пролетного строения;

– для сечения в середине соединяющей плиты пролетного строения выведены на печать значения поперечных сил;

– для поперечных сечений между старой и новой балками выведены на печать значения изгибающих моментов в плите.

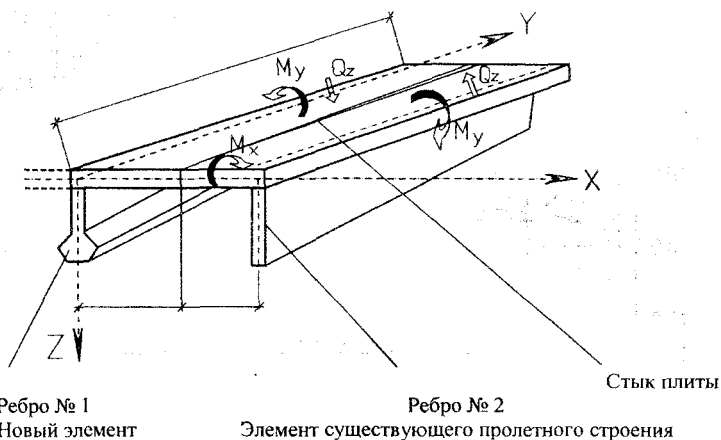
В табл.1 и на графике рис.5 показано распределение моментов M_x в плите, соединяющей старое и новое пролетное строение. В табл.2 и на графике рис.6 показано распределение поперечных сил Q_z в сечении вдоль пролета в плите соединения старых и новых блоков от нагрузки НК-80, в табл.3 и на рис.7 – распределение моментов M_y в поперечных сечениях соединяющей плиты.

Таблица 1 – Изгибающие моменты в плите соединения старых и новых блоков, $L=16,3$ м, $\Gamma=10,0$ м, нагрузка НК-80

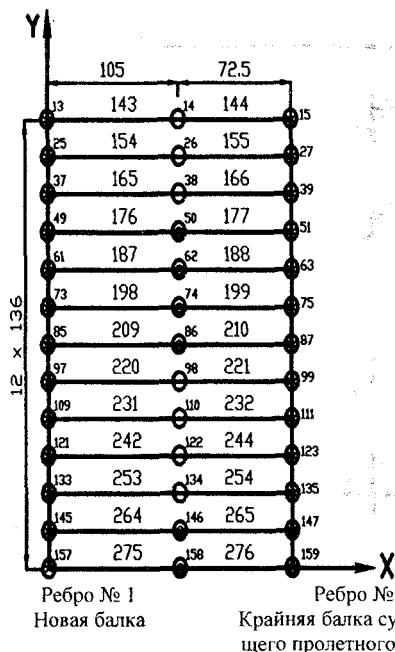
Координаты, м	Изгибающие моменты M_x , кН.м		
	сечение над левым ребром	сечение в середине плиты	сечение над правым ребром
$y = 0,00$	-14,07	-01,56	07,02
$y = 1,36$	-08,72	-03,45	-04,49
$y = 2,72$	-03,45	-04,79	-05,71
$y = 4,08$	-01,10	-05,32	-08,23
$y = 5,44$	-05,21	-07,76	-16,66
$y = 6,80$	11,93	-10,09	-23,89
$y = 8,16$	11,22	-09,95	-24,46
$y = 9,52$	13,32	-10,45	-26,75
$Y = 10,88$	08,30	-08,91	-20,71
$Y = 12,24$	00,49	-05,89	-10,27
$Y = 13,60$	-02,14	-05,37	-07,58
$Y = 14,96$	-07,58	-03,71	-01,04
$Y = 16,30$	-14,63	-01,62	06,86

Таблица 2 – Поперечные силы в плите соединения старых и новых блоков, $L=16,3$ м, $\Gamma=10,0$ м, нагрузка НК-80

Координаты, м	Поперечные силы, Q_z , кН	Координаты, м	Поперечные силы, Q_z , кН
$y = 0,00$	11,91	$y = 9,52$	-22,64
$y = 1,36$	04,16	$y = 10,88$	-16,39
$y = 2,72$	-01,28	$y = 12,24$	-06,07
$y = 4,08$	-04,03	$y = 13,60$	-03,07
$y = 5,44$	-12,36	$y = 14,96$	03,69
$y = 6,80$	-21,25	$y = 16,30$	13,90
$y = 8,16$	-20,16		



а



13-157 – узлы системы по новой балке;

15-159 – узлы системы по балке существующего пролетного строения;

14-158 – узлы по плите, соединяющей новую балку с существующим пролетным строением;

143-276 – номера элементов;
⊗ – точки приложения нагрузки НК-80

б

Рис. 4. – Схема элементов исследуемой части плиты и нумерация узлов

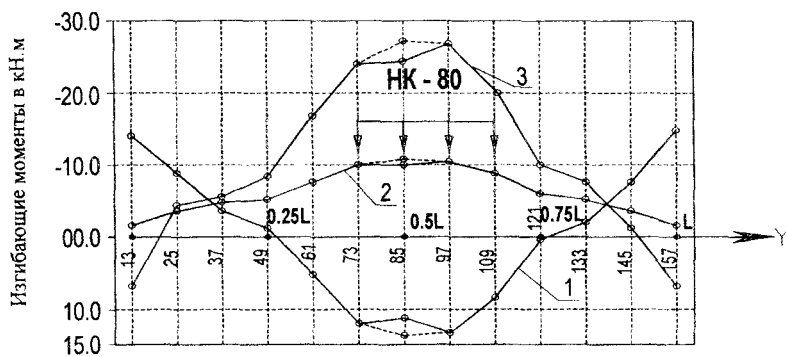


Рис. 5 – Эпюра моментов M_x в поперечных сечениях исследуемой части плиты:
1 – над левым ребром; 2 – в середине пролета плиты; 3 – над правым ребром

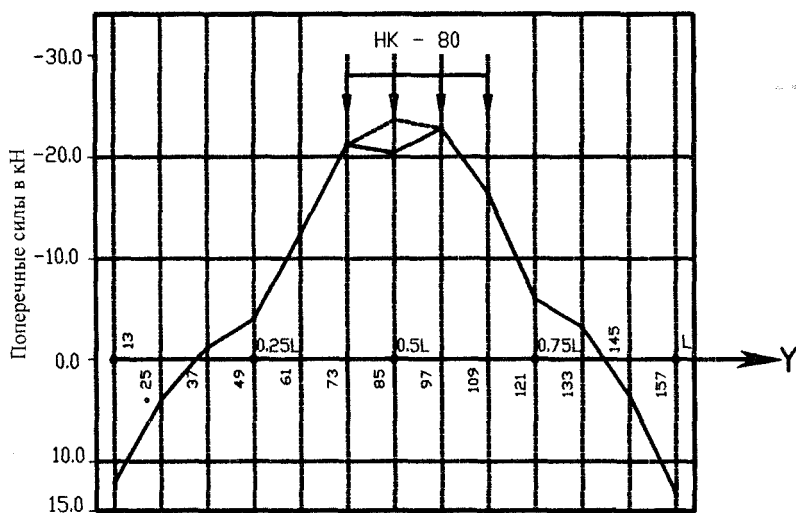


Рис. 6 – Эпюра поперечных сил Q_x в сечениях исследуемой части плиты

Таблица 3 – Изгибающие моменты M_y в плите соединения старых и новых блоков, $L = 16,3$ м, $\Gamma = 10,0$ м, нагрузка НК-80

Координаты, м	Изгибающие моменты M_y , кН.м		
	сечение над ребром $x=0$	сечение в плите $x=a$	сечение над ребром $x=a+b$
$y = 0,00$	-14,07	-01,56	07,02
$y = 1,36$	-08,72	-03,45	-04,49
$y = 4,08$	-01,10	-05,32	-08,23
$y = 8,16$	11,22	-09,95	-24,46
$y = 10,88$	08,30	-08,91	-20,71
$y = 13,60$	-02,14	-05,37	-07,58
$y = 16,30$	-14,63	-01,62	06,86

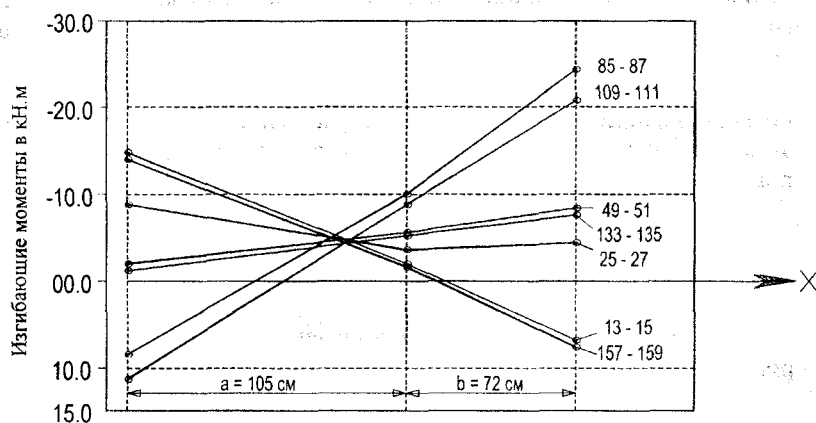


Рис. 7 – Эпюры моментов M_y в продольных сечениях накладной плиты

Таким образом, результаты численного исследования стыка плиты дают возможность сделать следующие выводы относительно распределения внутренних усилий от нагрузки, установленной на старом пролетном строении:

1. *Изгибающие моменты M_x .* Плита находится в сложном напряженном состоянии. Изгибающие моменты M_x в сечениях на линии стыка (2 на графике рис.5) по форме повторяют эпюру изгибающих моментов в ребрах. Что касается эпюр M_x в сечениях над ребрами, то они имеют по длине положительные и отрицательные участки. По знаку моменты над старым и новым элементами противоположны (1 и 3 на графике рис.5).

В практических приложениях важен момент M_x в зоне стыка. Как видно из табл.1, по абсолютной величине он составляет 39 % от момента M_x в зоне ребра существующего пролетного строения.

2. *Изгибающие моменты M_y .* Моменты M_y действуют в сечениях, параллельных по отношению к продольной оси пролетного строения, т.е. изгибают волокна, параллельные оси X . Результаты экспериментов показывают, что моменты M_y противоположны по знаку в сечениях над соседними ребрами и по абсолютной величине относятся пропорционально жесткостям ребер. Для равных жесткостей соседних ребер моменты оказываются зеркально симметричными и в сечениях $x = (a + b) / 2$ равны нулю (см. график на рис.7). Это обстоятельство позволяет сделать вывод о целесообразности применения в проектах реконструкции приставных блоков, имеющих изгибающую жесткость, приблизительно равную жесткости элементов существующего пролетного строения.

Стык плиты между новым и старым блоками нужно назначать, по возможности, ближе к середине расстояния между блоками. В этих сечениях изгибающие моменты и поперечные силы от временной нагрузки, установленной на старой части пролетного строения, будут близкими к нулю.

Заметим, что изгибающие моменты M_x и M_y , полученные в результате численных экспериментов, являются суммарными, т.е. включают усилия в сечениях от общего и местного изгиба.

В ходе исследования была поставлена серия численных экспериментов для пролетов $L=8,4$ м – $L=21,6$ м, целью которых было выяснение влияния длины пролета на распределение усилий M_x и M_y . Анализ полученных данных свидетельствует, что характер распределения этих усилий не зависит от длины пролета и остается таким, как показано на рис.5-7. По абсолютной величине M_x и M_y изменяются пропорционально (приблизительно) квадрату величины пролета.

Автор выражает искреннюю благодарность за помощь в работе своему научному руководителю д.т.н., проф. Лантуху-Лященко А.И.

1. Инструкция по уширению автодорожных мостов и путепроводов. ВСН 51-88. – М.: Транспорт, 1990. – 39 с.

2. Железобетонные пролетные строения без диафрагм с каркасной арматурой периодического профиля из стали М 35ГС. Вып 167. – М.: Главтранспроект, 1965.

3. Лантух-Лященко А.И. Автоматизация прочностных расчетов мостов. – К.: КАДИ, 1983. – 96 с.

Получено 29.08.2000